

CLIPPEDIMAGE= JP02002089559A

PAT-NO: JP02002089559A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002089559 A

TITLE: MAGNETIC BEARING DEVICE

PUBN-DATE: March 27, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

SHINOZAKI, HIROYUKI

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

EBARA CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP2000276845

APPL-DATE: September 12, 2000

INT-CL (IPC): F16C032/04;H02K007/09

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic bearing of high responsiveness
(quick responsiveness) at low cost.

SOLUTION: This magnetic bearing device includes a power amplifier for supplying a control current to the coil of the electromagnet of a controlled magnetic bearing. A nonlinear element 7 is provided on the rear stage of the power amplifier where a control input signal S1 and a current feedback signal S2 are added together.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御形磁気軸受の電磁石のコイルに制御電流を供給するパワーアンプを具備する磁気軸受装置において、前記パワーアンプの制御入力信号と電流帰還信号とを加算した後段に、非線形要素を設けたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項2】 請求項1に記載の磁気軸受装置において、前記非線形要素は、コンパレータ回路であることを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項3】 請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、前記非線形要素の後段に、変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項4】 請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、前記非線形要素の前段に、パルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項5】 請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、前記非線形要素の前段に、パルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設け、後段に、変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする磁気軸受装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は高速回転機械用の高速応答性能を要求される磁気軸受に関するものである。また、半導体デバイス製造装置用の低速ではあるが非接触支持できることをメリットとし、且つ磁気回路からのガス放出低減、耐蝕性向上のためにソリッドなヨーク構造を採用する磁気軸受に関し、例えば、CVD装置(化学的気相薄膜形成装置)やRTP(急速熱処理装置)用の基板回転器やガス循環ファンに好適な磁気軸受装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイス製造装置の分野で、磁気軸受が特に浸透・普及している装置にターボモレキュラポンプがある。これらの殆どに採用されている磁気軸受は、制御形磁気軸受と呼ばれるものである。図1は1自由度分の磁気軸受の構成例を示す図である。図示するように、磁気軸受は、変位センサ1、補償器2、パワーアンプ3及び電磁石4を備え、電磁石4に巻かれたコイルにパワーアンプ3から制御電流を供給し、発生する磁気力で制御対象5を磁気浮上支持する。制御対象5の変位Xは変位センサ1により検出され、目標値 X_0 と比較

され、その偏差を補償器2を介してパワーアンプ3に入力している。

【0003】上記パワーアンプ3の負荷は、電磁石4であるから、遅れ負荷である。この負荷に対して入力信号に応じた出力電流で電磁石4を駆動しようとする。そのため、入力信号と出力電流の関係は、遅れ特性となる。通常はこの遅れ特性を改善するために、電磁石4のコイルに供給されるコイル電流をパワーアンプ3の入力に帰還させるループを備えている。

【0004】図2はパワーアンプ3の構成例を示す図である。パワーアンプ3は制御部3-1、ドライブ部3-2、電流検出器3-3及び電流信号帰還ループ3-4で構成される。パワーアンプ3内は役割から大きく制御部3-1とドライブ部3-2の2つに分けることができる。制御部3-1は補償器2(図1参照)からの入力信号S1と電流帰還信号S2とに基づき後段のドライブ部3-2を制御する信号S3を形成する。ドライブ部3-2は制御部3-1の出力信号S3に基づき電磁石4のコイルにコイル電流を供給する。

【0005】制御部3-1を今日多く採用されている図3に示すPWM(パルス幅変調)方式を例に説明する。制御部3-1は信号調整器3-1-1、信号調整器3-1-2、加減算器3-1-3、ゲインアンプ3-1-4、PWM用キャリア信号発生器3-1-5及びPWM器(コンパレータ回路)3-1-6から構成される。制御部3-1では、入力信号S1に電磁石4のコイル電流信号を負帰還した電流帰還信号S2を比較的大きなゲイン(10~100)のゲインアンプ3-1-4に供給する。その後、PWM用キャリア信号発生器3-1-5からの三角波などの基準キャリア信号S4と比較するPWM器(コンパレータ回路)3-1-6によって、パルス幅変調信号である出力信号S3を発生する。このパルス幅変調信号S3をドライブ部3-2に送り、電磁石4のコイルにコイル電流Iが供給される。

【0006】この時、パワーアンプ3の増幅応答性能(入力信号に対する出力電流)は、入力信号S1に対するコイル電流Iの帰還量の割合が1の時、ゲイン=1

[A/V]である。このゲインは、コイル電流Iの帰還割合に反比例する。また、速応性能(追従性能)は、入力信号S1に対するコイル電流Iの帰還量の割合に比例し、また、後段の比較的大きなゲインアンプ3-1-4のゲインに比例する。

【0007】しかし、磁気軸受の応答性(速応性)を高めようとして、コイル電流Iの帰還量や、後段のゲインアンプ3-1-4のゲインを大きく設定すると、コイル電流信号(電流帰還信号S2)に含まれるPWM用のキャリア信号成分も増幅してしまい、後段のパルス幅変調用のコンパレータ回路3-1-6の動作が不安定になる。更に、ゲインアンプ3-1-4の応答性(速応性)は、そのゲインの大きさに反比例する。そのため、ゲイ

ンを大きくできないのが現実である。付け加えれば、コイル電流Iの帰還割合を多くすると、パワーアンプ3の増幅応答性能(入力信号に対する出力電流)が低下するので、通常1対1以下で使用する人が多い。

【0008】続いて、先のゲインアンプ3-1-4の応答性(速応性)は、信号振幅に反比例する。そのため、あまりにもコイル電流Iがパワーアンプ3の入力信号S1に対して遅れると、入力信号S1と電流帰還信号S2との和(偏差)が大きくなる(加減算器3-1-3の出力値にびったりの応答時は、この和がゼロ)。従って、先のゲインアンプ3-1-4への入力振幅は大きくなり、ゲイン倍率によっては、アンプ内で飽和してしまう。この飽和現象も応答性(速応性)の劣化要因となる。

【0009】以上の通り、応答性(速応性)の方向には、課題が山積しており、一般的な解決手段としてはドライブ部3-2の駆動電圧Edを上げる方法がとられる。しかしながら、このドライブ部3-2の駆動電圧Edの上昇は、高電圧をスイッチングすることとなり、電磁ノイズの増加は避けられないといった問題が発生する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、応答性(速応性)の高い磁気軸受を低コストで提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため請求項1に記載の発明は、制御形磁気軸受の電磁石のコイルに制御電流を供給するパワーアンプを具備する磁気軸受装置において、パワーアンプの制御入力信号と電流帰還信号とを加算した後段に、非線形要素を設けたことを特徴とする。

【0012】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の磁気軸受装置において、非線形要素は、コンパレータ回路であることを特徴とする。

【0013】上記のように、パワーアンプの制御入力信号と電流帰還信号とを加算した後段に、非線形要素を設けたので、パワーアンプ3の速応性を向上させることができる。特に、非線形要素として、基準電位と比較し、出力を「高」と「低」の定値出力とするコンパレータは、基準電圧近傍の入力信号に対しては略ゲイン倍率 ∞ のアンプと等価であるため、パワーアンプの速応性を向上させることができる。

【0014】請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、非線形要素の後段に変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする。

【0015】上記のように非線形要素の出力段に、変位センサ用キャリア周波数信号成分を除去する除去器を設けることにより、非線形要素の矩形波状の出力信号に含

まれる高次調波成分内の変位センサ用のキャリア周波数信号成分が除去される。

【0016】請求項4に記載の発明は、請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、非線形要素の前段にパルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする。

【0017】電磁石のコイル電流の検出信号には、多少なりともPWM用のキャリア周波数信号成分が含まれる。そのため、帰還する前にこの信号成分を除去することが行われるが、必ずしも十分な除去ができない場合がある。そこで上記のように非線形要素の前段にPWM用のキャリア周波数信号成分を除去する除去器を設けることにより、このPWM用のキャリア周波数信号成分が除去される。

【0018】請求項5に記載の発明は、請求項1又は2に記載の磁気軸受装置において、非線形要素の前段にパルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設け、後段に、変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けたことを特徴とする。

【0019】上記のように、非線形要素の前段にパルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設け、後段に変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けることにより、上記請求項3に記載の発明の作用と請求項4に記載の発明の作用との両作用が奏されることになる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態例を図面に基いて説明する。図4は本発明に係る磁気軸受のパワーアンプ(図1のパワーアンプ3)の構成を示す図である。図示するように、パワーアンプ3の速応性を向上させるために、信号合成調整部3-1A(図3の3-1Aと同じ)とコンパレータ回路3-1-6の間に、非線形要素7を挿入する。非線形要素7としては、例えばコンパレータを用いる。特に、基準電位と比較し、出力を「高」と「低」の定値出力とするコンパレータは、速応性がよい。基準電圧近傍の入力信号に対しては、略ゲイン倍率 ∞ のアンプと等価である。そのため、パワーアンプの速応性を向上させることができる。

【0021】図5(a)、(b)は非線形要素7の具体例を示す図で、(a)はオペアンプ7-1を利用した場合であり、(b)はオープンコレクタ出力のコンパレータを利用した場合を示す。図5(c)は(a)及び(b)に示す非線形要素7の入力-出力特性を示す図である。非線形要素7は入力が0Vと近傍ではゲイン ∞ のアンプと等価である。なお、非線形要素7は図5(a)、(b)に示す構成に限定されるものではなく、今日のデジタル数値演算手段でも容易に実現できる。

【0022】図3の制御部3-1において、信号調整器3-1-1の一部、信号調整器3-1-2の一部、加減

算器3-1-3及びゲインアンプ3-1-4は、アナログ回路では、図6に示すように、一つのオペアンプ107と受動素子（抵抗器101、102、103、コンデンサ104、ツェナーダイオード105、106）の構成で簡単に実現できる。入力信号S1と電流帰還信号S2との割合、ゲインアンプ3-1-4のゲイン倍率は連動している。そこで、主要目的を入力信号S1と電流帰還信号S2との割合決めとし、ここでのゲイン倍率はオペアンプ107の内部飽和を避けるため、比較的小さく（1〜10倍程度）することが望ましい。

【0023】なお、図6において、入力信号S1と電流帰還信号S2との割合は、抵抗器101、102の抵抗値R1、R2で決まる。ゲイン倍率は $R3/R1$ 、 $R3/R2$ で決まる。但し、R3は抵抗器103の抵抗値である。従って、入力信号S1と電流帰還信号S2は抵抗値R1、R2の大きさに反比例する。また、コンデンサ104はオペアンプ107の内部発振を防止するなどの目的で設けられている。また、ツェナーダイオード105、106は、出力電圧の最大振幅を制限する場合に用いられる。この制限の目的は、後段のコンパレータ回路3-1-6で、比較対象のPWM用キャリア信号発生器3-1-5からの基準キャリア信号S4の振幅より大きくならないようにするためである。

【0024】更に、図7に示すように、非線形要素7の出力段に、変位センサ1（図1参照）の機能を保護する目的で、変位センサ用キャリア周波数信号成分を除去する除去器8を設けるとよい。非線形要素7の出力は、矩形波状の信号となる。これに含まれる高次調波成分内に、変位センサ用のキャリア周波数信号成分が含まれていると、変位センサの機能そのものを劣化させてしまうことがあるためである（詳細は、特願平10-46296号明細書参照）。

【0025】加えて、非線形要素7の前段に、図8に示すようにPWM用のキャリア周波数信号成分を除去する除去器9を設けるとよい。電磁石4のコイル電流Iを電流検出器3-3（図4参照）で検出する信号には、多少なりとも同信号成分が含まれる。そのため、帰還する前にこの信号成分を除去することが行われる。しかしながら、必ずしも十分な除去ができない場合がある。また、ゲインアンプ3-1-4（信号合成調整部3-1A）で増幅される構成であるため、非線形要素7の前段近傍に、PWM用のキャリア周波数信号成分を除去する除去器9を設けるとよい。

【0026】本発明に係る磁気軸受の制御部は図4に示すように、パワーアンプの速応性を向上させるために、信号合成調整部3-1Aとコンパレータ回路3-1-6の間に、非線形要素7を挿入し、非線形要素7の出力段に変位センサ用キャリア周波数信号成分を除去する除去器8を設け、前段にPWM用のキャリア周波数信号成分を除去する除去器9を設けるので、応答性の高い磁気軸

受装置を提供でき、下記①〜④のような問題点を克服できる。

【0027】①速応性を高めようとして、電磁石4のコイル電流の帰還量や、ゲインアンプ3-1-4（図3参照）のゲインを大きく設定すると、コイル電流信号に含まれるPWM用のキャリア信号成分も増幅してしまい、パルス変調用のコンパレータ回路3-1-6の動作が不安定になる。

【0028】②ゲインアンプ3-1-4の応答性（速応性）は、そのゲインの大きさに反比例する。そのため、ゲインを大きくできないのが現実である。

【0029】③上記のように、ゲインアンプ3-1-4の応答性（速応性）は、そのゲインの大きさに反比例する。そのため、あまりにも電磁石4のコイル電流がパワーアンプ3の入力信号に対して遅れると、入力信号S1とコイル電流Iの電流帰還信号S2との和（偏差）が大きくなる。従って、ゲインアンプ3-1-4への入力振幅は大きくなり、ゲイン倍率によっては、ゲインアンプ3-1-4内で飽和してしまう。この飽和現象も応答性（速応性）の劣化要因となる。

【0030】④応答性（速応性）の向上のために、ドライブ部3-2の駆動電圧Edを高めると、高電圧をスイッチングすることになり、電磁ノイズの増加は避けられない。変位センサ1に影響を生じ、正確な位置制御性能が劣化する。

【0031】図9は除去器8及び9を説明するための図で、図9（a）は除去器110と入力信号Sin及び出力信号Soutを示す図である。図9（b）、（c）はそれぞれローパスフィルタ（LPF）とバンド・エリミネイト・フィルタ（BEF）の伝達率 $G=Sout/Sin$ と周波数の関係を示す図である。Aが通過領域、Bが除去領域を示す。

【0032】図10（a）、（b）はそれぞれ受動型除去器であるLPFの構成例とその特性を示す。図10（c）は受動型除去器であるBEFの構成例とその特性を示す。図において、Rは抵抗、Cはコンデンサ、Lはインダクタンス、Eはグラウンド（基準電圧）、fは周波数を示す。

【0033】図11（a）、（b）はそれぞれ能動型除去器であるLPFの構成例とその特性を示す。図において、Rは抵抗、Cはコンデンサ、Lはインダクタンス、Eはグラウンド（基準電圧）、fは周波数、111はオペアンプを示す。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように各請求項に記載の発明によれば下記のような優れた効果が得られる。

【0035】請求項1及び2に記載の発明によれば、パワーアンプの制御入力信号と電流帰還信号とを加算した後段に、非線形要素を設けたので、パワーアンプの速応性を向上させることができる。特に、非線形要素として

基準電位と比較し、出力を「高」と「低」の定値出力とするコンパレータは、基準電圧近傍の入力信号に対しては略ゲイン倍率 $=\infty$ のアンプと等価であるため、パワーアンプの速応性を向上させることができる。

【0036】請求項3に記載の発明によれば、非線形要素の出力段に、変位センサ用キャリア周波数信号成分を除去する除去器を設けることにより、非線形要素の矩形波状の出力信号に含まれる高次調波成分内の変位センサ用のキャリア周波数信号成分が除去され、変位センサの機能の劣化を防止できる。

【0037】請求項4に記載の発明によれば、非線形要素の前段にPWM用のキャリア周波数信号成分を除去する除去器を設けることにより、このPWM用のキャリア周波数信号成分が除去され、パルス変調用のコンパレータの動作が安定する。

【0038】請求項5に記載の発明によれば、非線形要素の前段にパルス幅変調(PWM)式パワーアンプのキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設け、後段に変位センサ用のキャリア周波数信号帯域を除去する除去器を設けることにより、上記請求項3に記載の発明の効果と請求項4に記載の効果の両効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】1自由度分の磁気軸受の構成例を示す図である。

【図2】図1のパワーアンプの構成例を示す図である。

【図3】図2の制御部の構成例を示す図である。

【図4】本発明に係る磁気軸受のパワーアンプの構成を示す図である。

【図5】本発明に係る磁気軸受の非線形要素及び入力-出力特性を示す図である。

【図6】本発明に係る磁気軸受のパワーアンプ内の一部構成例を示す図である。

【図7】本発明に係る磁気軸受の変位センサ用キャリア周波数信号成分の除去構成例を示す図である。

【図8】本発明に係る磁気軸受の変位センサ用キャリア周波数信号成分及びPWM周波数信号成分の除去構成例を示す図である。

【図9】本発明に係る磁気軸受に用いる除去器を説明するための図である。

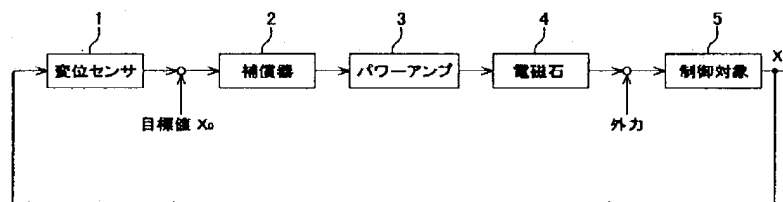
【図10】本発明に係る磁気軸受に用いる除去器の構成例を示す図である。

10 【図11】本発明に係る磁気軸受に用いる除去器の構成例を示す図である。

【符号の説明】

| | |
|-------|---------------|
| 1 | 変位センサ |
| 2 | 補償器 |
| 3 | パワーアンプ |
| 3-1 | 制御部 |
| 3-1-1 | 信号調整器 |
| 3-1-2 | 信号調整器 |
| 3-1-3 | 加減算器 |
| 3-1-4 | ゲインアンプ |
| 3-1-5 | PWM用キャリア信号発生器 |
| 3-1-6 | PWM器(コンパレータ) |
| 3-2 | ドライブ部 |
| 3-3 | 電流検出器 |
| 3-4 | 電流信号帰還ループ |
| 4 | 電磁石 |
| 5 | 制御対象 |
| 7 | 非線形要素 |
| 7-1 | オペアンプ |
| 8 | 除去器 |
| 9 | 除去器 |

【図1】



1自由度分の磁気軸受の構成例

【図2】

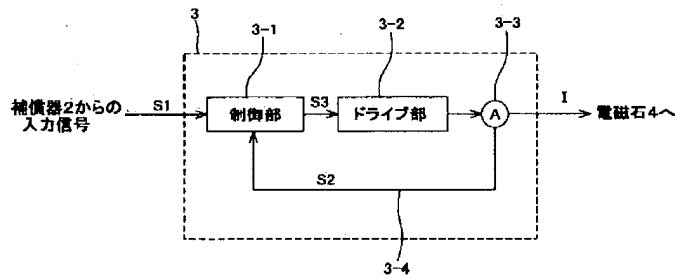


図1のパワーアンプの構成例

【図3】

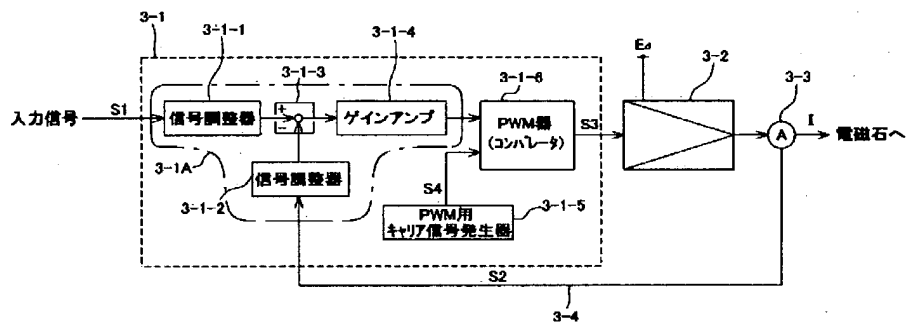
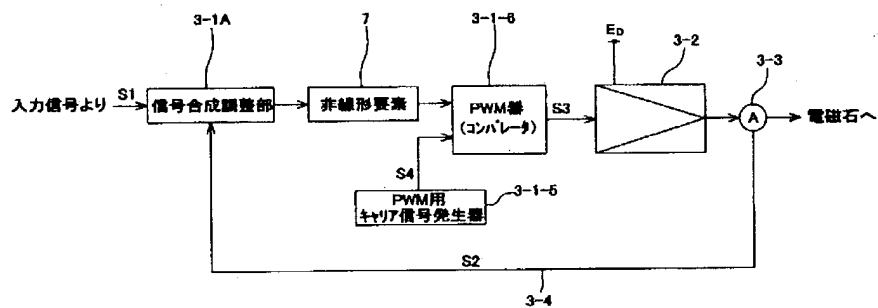


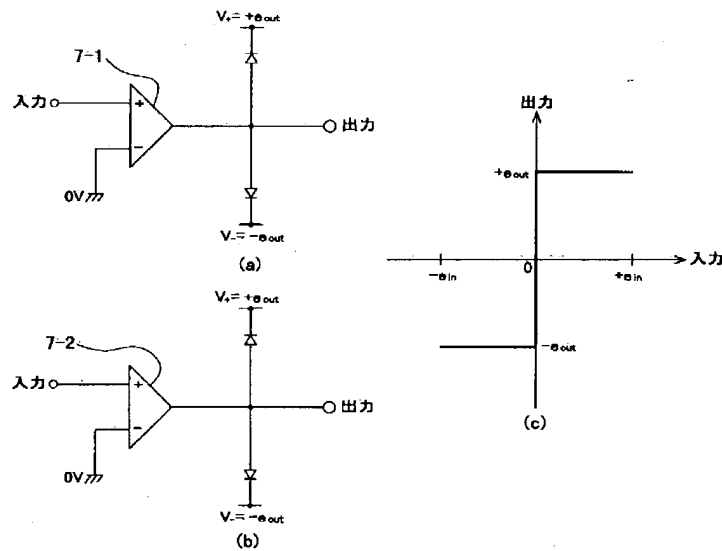
図2の制御部の構成例

【図4】



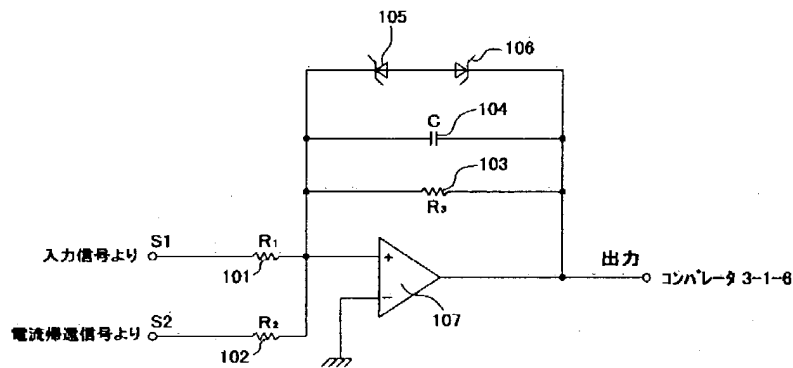
本発明に係る磁気軸受のパワーアンプの構成例

【図5】



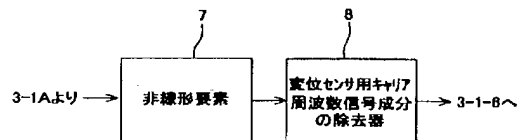
本発明に係る磁気軸受の非線形要素及び入力-出力特性

【図6】



本発明に係る磁気軸受のパワーアンプ内の一部構成例

【図7】



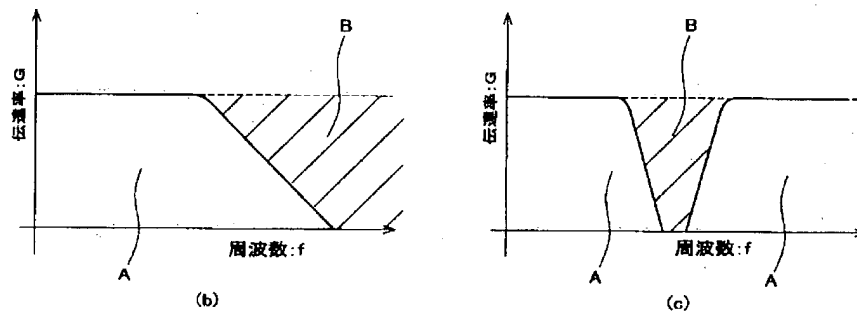
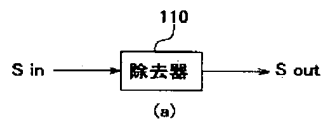
本発明に係る磁気軸受の変位センサ用キャリア周波数信号成分の除去構成例

【図8】



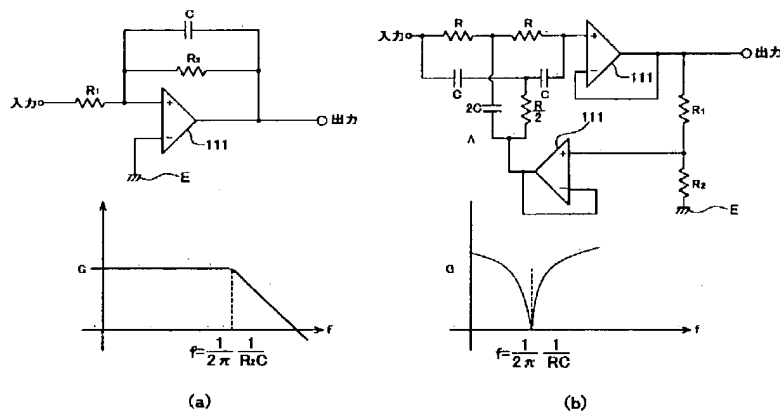
本発明に係る磁気軸受の変位センサ用キャリア周波数信号成分及びPWM周波数信号成分の除去構成例

【図9】



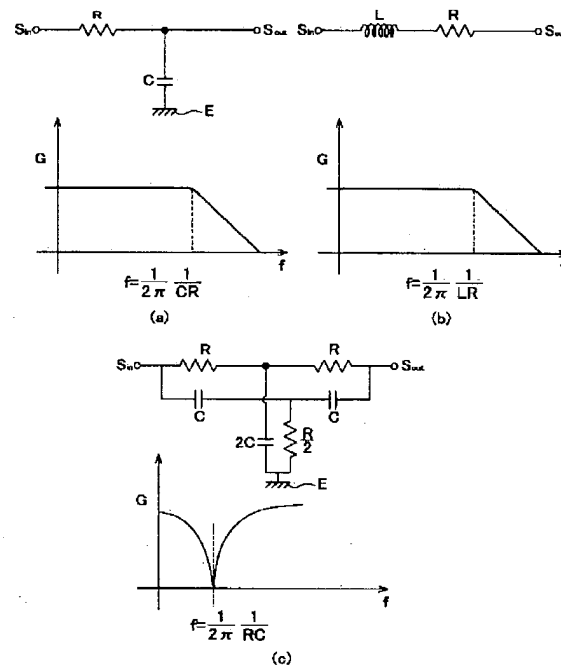
本発明に係る磁気軸受に用いる除去器を説明するための図

【図11】



本発明に係る磁気軸受に用いる除去器の構成例

【図10】



本発明に係る磁気軸受に用いる除去器の構成例

【手続補正書】

【提出日】平成12年10月4日(2000.10.4)

【手続補正1】

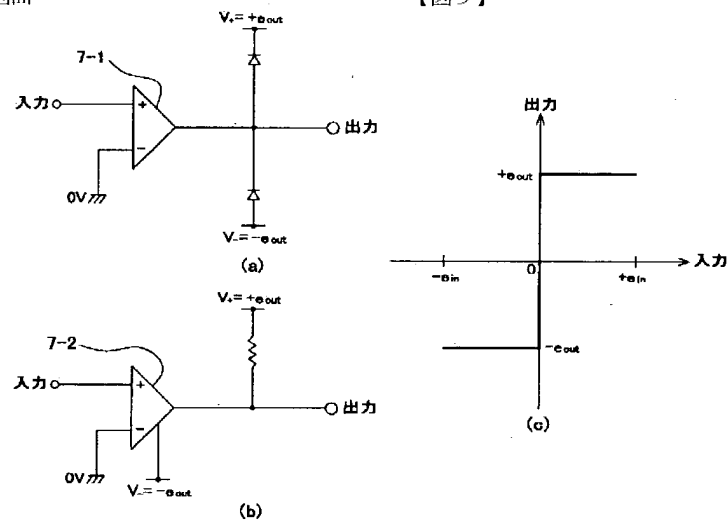
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図5

【補正方法】変更

【補正内容】

【図5】



本発明に係る磁気軸受の非線形要素及び入力-出力特性